

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ
НА БАЗЕ СТЕНДА «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ
И SCADA-СИСТЕМЫ»**

А.С. Нестеров, А.А. Шапкин

Рассмотрены особенности построения систем электроснабжения нефтеперекачивающих станций; особенности режимов работы технологического оборудования; направления развития систем релейной защиты, автоматики, телемеханики и управления технологическими агрегатами.

Ключевые слова: лабораторный стенд, функциональная схема, преобразователь частоты, пид-регулятор.

На перекачку центробежными насосами чистых и сточных вод в России расходуется 120–130 млрд кВт·ч электроэнергии. Стоимость электроэнергии в общей сумме эксплуатационных расходов на водопроводно-канализационных предприятиях составляет 40–50 %. В результате 5–15 % энергии нерационально теряются в процессе перекачки чистых и сточных вод. Основные потери в насосных установках обусловлены несоответствием режима работы, режиму потребления и неправильно выбранного

способа управления. На базе лабораторного стенда есть возможность практически проверить влияние режимов управления на состояние гидравлической системы.

Стенд (рис. 1 и 2) представляет собой гидравлическую систему (1), содержащую две емкости: технологическую (2) и мерную (3). Мерная емкость является имитацией резервуара и предназначена для создания на ее основе, системы регулирования уровня жидкости. Для этого емкость снабжена датчиком гидростатического давления, емкостными поплавковыми датчиками. Также в емкость установлен трубчатый электронагреватель и термопара, что в совокупности с ПИД-регулятором температуры, позволяет реализовать в данном стенде систему регулирования температуры. Циркуляция жидкости в трубопроводе осуществляется насосным агрегатом (4), питающимся от преобразователя частоты (5). Для регулирования расхода в гидросистеме в трубопровод установлена задвижка с электроприводом (6). Также в систему трубопроводов установлены различные датчики, такие как: датчики давления, температуры, интеллектуальный датчик давления, стрелочные приборы, ультразвуковой расходомер и др. Исследуемые устройства и приборы установлены таким образом, чтобы существовала возможность сравнения между собой показаний измерительных приборов различного типа.

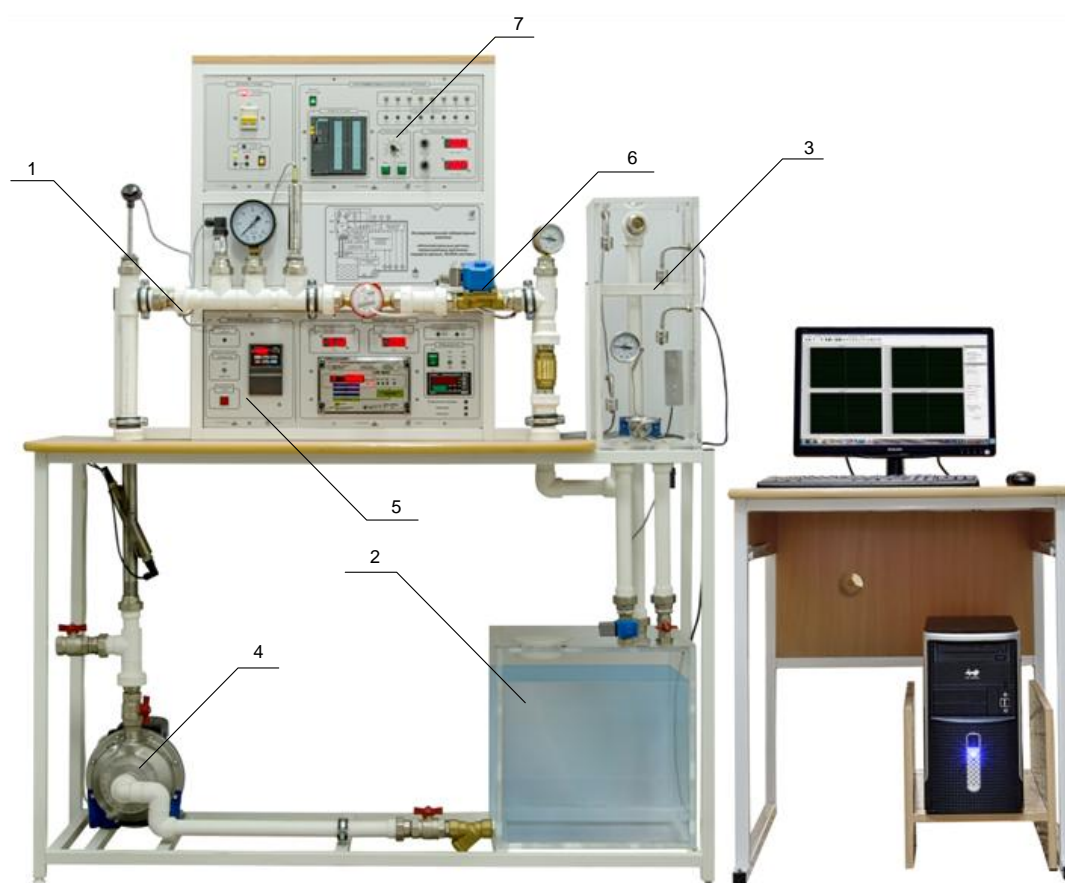


Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

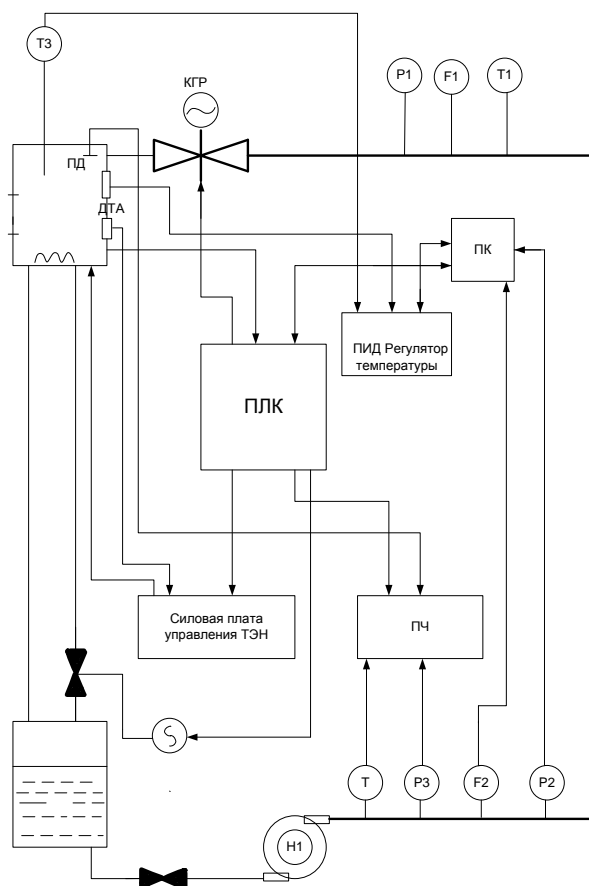


Рис. 2. Функциональная схема стенда

электроприводом и передаточным механизмом образует насосный агрегат, основными параметрами которого являются давление и подача.

Давление – разность удельных энергий жидкости в напорном и всасывающем патрубках насоса, необходимая для подъема жидкости на заданную высоту и для преодоления сил трения в трубопроводе:

$$P = \rho gh_2 - \rho gh_1;$$

Подача – объем жидкости, перекачиваем насосной установкой за единицу времени:

$$Q = \frac{V}{t};$$

Напор – равноценно термину давления. Напор и давление связаны между собой отношением:

$$H = \frac{P}{\rho g};$$

где H – напор, м; P – давление жидкой среды насоса, Па; ρ – плотность жидкой среды, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Формирование управляющих сигналов, а также, сбор, обработку и обмен информации в стенде осуществляет общепромышленный программируемый логический контроллер фирмы Siemens. Центральный процессор контроллера с набором встроенных дискретных и аналоговых входов-выходов установлен в лицевую панель, на которой также расположены тумблеры и потенциометры для имитации входных сигналов (7).

Для дальнейшего рассмотрения системы регулирования давления, необходимо напомнить специфику и терминологию гидравлических систем.

Гидравлическая машина, создающая напорное перемещение жидкости при сообщении ей энергии (насос) в совокупности с

Зависимость между расходом жидкости через трубопровод и напором, который требуется для обеспечения этого расхода, называется характеристикой трубопровода и описывается уравнением:

$$H_C = H_{CT} + SQ^2;$$

где H_C – напор в начале трубопровода; S – гидравлическое сопротивление трубопровода; H_{CT} – статический напор, обусловленный разностью геодезических отметок подачи и приема жидкости.

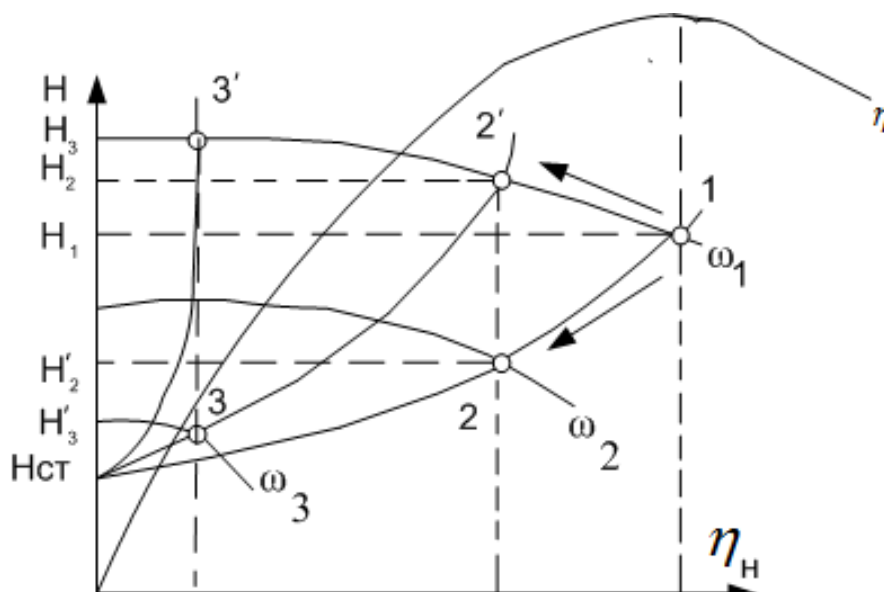


Рис. 3. Регулирование напора

Преднамеренное изменение подачи и напора насоса в соответствии с изменяющимся режимом работы системы называется регулированием.

Рассмотрим два способа регулирования давления в системе (рис. 3): путем изменения степени открытия задвижки (дресселирование) и путем изменения частоты вращения двигателя (частотное регулирование).

В первом варианте, закрывая или открывая задвижку, изменяют крутизну характеристики H - Q трубопровода, которая зависит от его гидравлического сопротивления. Так при закрытии задвижки характеристика перемещается из точки 1 в точку $2'$. Увеличивая степень закрытия затвора, увеличивают напор развиваемый насосом до значения H_2 , а подача уменьшается до значения Q_2 .

Второй способ называется частотным управлением. При уменьшении частоты вращения насоса напорная характеристика перемещается вниз, параллельно самой себе. При этом рабочая точка перемещается из точки 1 в точку 2 , перемещаясь по характеристике трубопровода, следовательно, подача уменьшается также, как и напор в сети.

Для изучения второго способа регулирования, реализуем в данном стенде систему поддержания давления в трубопроводе. Для этого используем ПИД-регулятор, встроенный в преобразователь частоты. Для запуска ПИД-регулятора требуется настроить параметры преобразователя частоты, а также проверить подключение соответствующего датчика к каналу обратной связи.

При настройке ПИД-регулятора были настроены следующие параметры:

- источник задания ПИД-регулятора – пульт управления;
- источник сигнала обратной связи – отрицательный сигнал обратной связи 4–20 мА;
- коэффициент усиления обратной связи – т.к. максимальное давление, развиваемое в стенде при максимальной частоте, соответствует, приблизительно 120 кПа, а датчик давления рассчитан на 600 кПа, то данный параметр имеет значение $K_{УОС} = 20/6,7 = 3$ (рис. 4);
- пропорциональная составляющая контура – var;
- интегральная составляющая контура – var;
- дифференциальная составляющая контура – var.

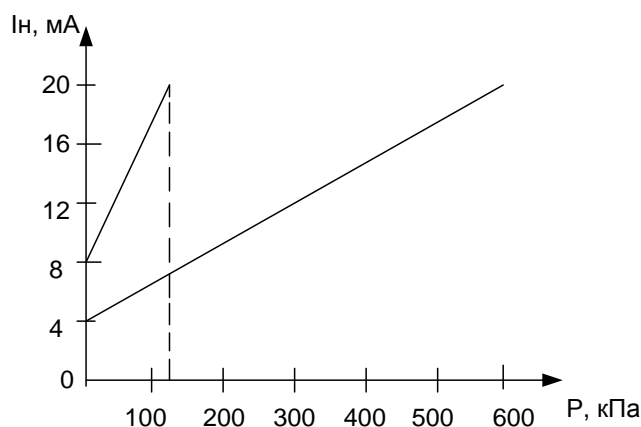


Рис. 4. Настройка коэффициента обратной связи

Структурная схема системы поддержания давления представлена на рис. 5.

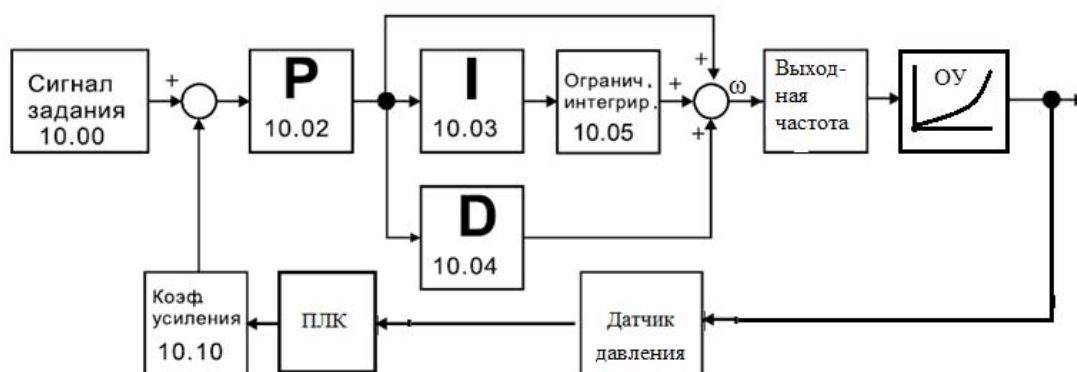


Рис. 5. Структурная схема частотного регулирования

Для работоспособности системы регулирования, необходимо выполнение главного критерия работоспособности замкнутой системы – она должна быть устойчива. Под устойчивостью системы понимают свойство системы самостоятельно возвращаться к равновесному состоянию после возмущения, нарушившего ее равновесие.

Так как возникает необходимость обеспечить не только устойчивость системы, но также обеспечить высокие показатели качества переходного процесса, то для настройки коэффициентов ПИД-регулятора воспользуемся достаточно распространенным методом Циглера-Никольса:

- обнуляем все коэффициенты регулятора K ;
 - постепенно увеличиваем пропорциональный коэффициент, до тех пор, пока не получим режим автоколебаний;
 - фиксируем коэффициент, измеряем период колебаний системы T ;
- далее с помощью следующих формул рассчитываем коэффициенты ПИД-регулятора:

$$K_{II} = K \cdot 0.5; K = 1; K_{II} = 0.5;$$

$$K_{II} = (2 \cdot K_{II}) / T; T = 4; K_{II} = 0.25;$$

$$K_{D} = (4 \cdot K_{II}) / T; T = 4; K_{D} = 0.25.$$

После настройки системы, была произведена проверка разработанной системы регулирования (рис. 6).

Далее, была проведена практическая проверка влияния коэффициентов настройки ПИД-регулятора, на показатели качества переходного процесса. Были рассмотрены следующие показатели: динамическая ошибка – максимальное отклонение регулируемого параметра от заданного значения; статическая ошибка – рассогласование между установившимся значением и начальным значением; время переходного процесса (рис. 7–8).

В итоге на практике были получены зависимости показателей качества от коэффициентов регулятора (табл. 1 и 2). Как и предполагалось в теории:

- увеличение пропорционального коэффициента приводит к увеличению быстродействия, но снижение устойчивости системы;
- увеличение дифференциальной составляющей также приводит к значительному увеличению быстродействия;
- дифференциальная составляющая призвана устранить затухающие колебания, возникающие при использовании только пропорциональной составляющей;
- интегральная составляющая приводит к повышению точности системы, но существенно повышает ее инерционность.

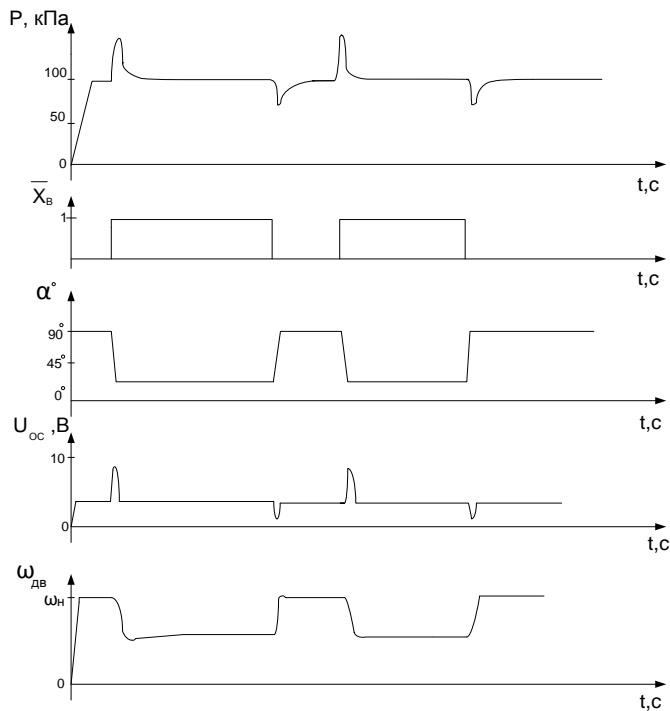


Рис. 6. Временные диаграммы переходных процессов в процессе работы системы поддержания давления

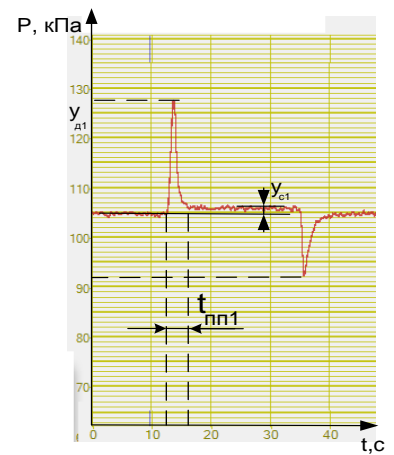


Рис. 7. График переходного процесса при настроенном ПИД-регуляторе ($K_{П1}=0,5$, $T_{И1}=0,25$, $T_{Д1}=0,1$)

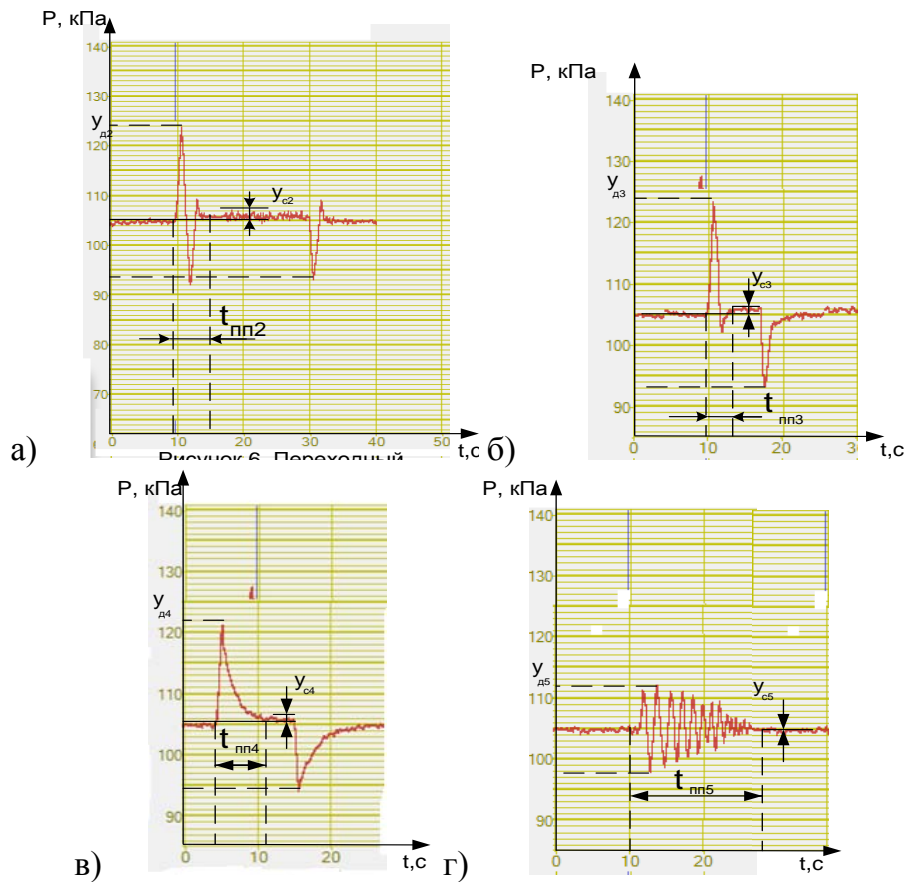


Рис. 8. Графики переходного процесса при вариации параметров ПИД-регулятора (а – $K_{П2}=4K_{П1}$, б – $T_{И3}=0,5T_{И1}$, в – $T_{И4}=4T_{И1}$, г – $T_{И5}=10T_{И1}$)

В итоге на практике были получены зависимости показателей качества от коэффициентов регулятора (табл. 1 и 2). Как и предполагалось в теории:

- увеличение пропорционального коэффициента приводит к увеличению быстродействия, но снижение устойчивости системы;
- увеличение дифференциальной составляющей также приводит к значительному увеличению быстродействия;
- дифференциальная составляющая призвана устранить затухающие колебания, возникающие при использовании только пропорциональной составляющей;
- интегральная составляющая приводит к повышению точности системы, но существенно повышает ее инерционность.

Таблица 1

Влияние интегральной составляющей на переходный процесс

Параметры	Время переходного процесса, с	Статическая ошибка, кПА	Динамическая ошибка, кПА	Количество колебаний до установившегося значения
$T_i=0,25$	4	2	27	2
$T_i=1$	7	1	22	1
$T_i=2,5$	19	0	13	10

Таблица 2

Влияние пропорционального канала на переходный процесс

Параметры	Время переходного процесса, с	Статическая ошибка, кПА	Динамическая ошибка, кПА	Количество колебаний до установившегося значения
$K_p=1$	3,4	2	27	1
$K_p=2$	5	5	25	3

Вывод

Применение современных систем автоматического управления и внедрение регулируемого электропривода зачастую приводит к более эффективному использованию насосных установок. Приводит к уменьшению износа гидромеханического и электротехнического оборудования, снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций, благодаря плавному изменению режимов работы насосных установок.

Выполнение работы на лабораторном стенде, позволило реализовать и экспериментально проверить данные теоретические положения. Также возможности стенда позволяют провести такие важные экспериментальные исследования, как реализация систем поддержания уровня, температур.

Библиографический список

1. Денисенко, В.П. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В.П. Денисенко // СТА. – 2006. – № 4. – С. 66–74.
2. Денисенко, В.П. ПИД-регуляторы: вопросы реализации / В.П. Денисенко // СТА. – 2007. – № 4. – С. 86–97.
3. Мюллер, Ю. Регулирование на основе SIMATIC. Практическое пособие по регулированию на основе SIMATIC и SIMATIC PCS7 / Ю. Мюллер, В. Хунгер, Б.-М. Пфайфер // Siemens. – 2002. – 220 с.